

4. Hevko R.B., Dovbush T.A., et al. Determination of technical-and-economic indices of root crop conveyer-separator. INMATEH Agricultural Engineering, Vol. 61, No 2, 2020.
5. Dovbush T.A., Khomyk N.I., Dovbush A.D. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. Scientific Journal of TNTU, Vol. 108, No 4, 2022.
6. WordPress Core Handbook. Automated Testing. <https://make.wordpress.org/core/handbook/testing/automated-testing/>
7. PHPUnit Manual 10.5. Writing Tests for PHPUnit. URL: <https://docs.phpunit.de/en/10.5/writing-tests-for-phpunit.html>
8. OpenAI. GPT-4o Technical Report. 2025

УДК 621.326

Волинець Ю. П. - студента група TR-304

Науковий керівник: Недошитко Л. М. , викладач-методист

(Відокремлений структурний підрозділ “Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя”, Україна)

БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ

Volynets Y. P. - student of TR-304 group

Scientific supervisor: Nedoshytko L. M., teacher-methologist

UNMANNED AERIAL VEHICLES

Безпілотні літальні апарати (дрони) сьогодні широко використовуються у багатьох сферах – від агромоніторингу та ландшафтного картографування до військових операцій і доставки вантажів. Їхня ефективність значною мірою залежить від правильно спроектованої радіоелектроніки, адже саме вона забезпечує роботу всіх ключових підсистем: живлення, керування, навігації та зв'язку.

Одним із найважливіших елементів є система живлення та силова електроніка. Більшість сучасних дронів працюють від акумуляторів, зокрема літій-полімерних (Li-Po), які вирізняються високою енергощільністю. Силова електроніка включає регулятори швидкості двигунів (ESC), перетворювачі та інвертори, що формують керовані сигнали для електродвигунів. У наукових роботах порівнюють ефективність різних силових компонентів, таких як MOSFET, SiC чи GaN-транзистори, і вибір залежить від робочої частоти, навантаження та енергетичних характеристик. Додатково застосовуються системи розподілу живлення (PDB), які стабілізують напругу та подають її до всіх бортових пристроїв.

Ключову роль у роботі безпілотників відіграє система керування польотом. Центральний елемент — політний контролер, який обробляє дані від пілота або автономної програми, отримує інформацію з датчиків та формує команди для регуляторів двигунів. До складу сенсорного модуля входять інерційні вимірювачі (IMU), що об'єднують гіроскопи та акселерометри, барометри для визначення висоти та магнітометри для орієнтації у просторі. Завдяки цим компонентам дрон може стабільно утримуватися в повітрі, точно виконувати маршрути та обходити перешкоди. Не менш важливою є навігаційна система. Для точного позиціонування дрони використовують глобальні супутникові системи — GPS, ГЛОНАСС чи Galileo.

У новітніх проєктах вивчаються також додаткові частоти, зокрема терагерцовий та міліметровий діапазони (mmWave), які можуть забезпечити більш високу швидкість передачі даних і надійну навігацію навіть у складних умовах. Навігаційний модуль

інтегрується з контролером, що дозволяє коригувати курс, підтримувати стабільність і реалізовувати автономні режими польоту.

Зв'язок між дроном і оператором здійснюється через радіоканал. Сучасні безпілотники оснащуються каналами керування (RC link) у діапазонах 2,4 чи 5,8 ГГц. Один із популярних протоколів — ExpressLRS, що базується на технології LoRa та дозволяє досягати великої дальності зв'язку при низькій затримці. Телеметричні канали передають оператору інформацію про стан систем рівень заряду батареї, висоту, швидкість і координати. Окремо важливе місце посідає відеолінк (FPV або цифровий), який забезпечує передачу зображення в реальному часі. У зв'язку з підвищенням вимог до пропускної здатності активно досліджуються нові технології, такі як mmWave-зв'язок, beamforming та інтеграція з мережами 4G/5G для польотів поза зоною прямої видимості.

Водночас робота електронних систем дрона стикається з низкою викликів. Одним із найсерйозніших є вплив електромагнітних завад (EMI), що можуть погіршувати якість зв'язку, навігації або навіть призвести до збоїв у керуванні. Для захисту застосовуються різні методи: екранування кабелів та блоків, фільтрація сигналів, правильне розміщення антен. Додатково використовуються спеціальні захисні покриття для електронних компонентів, наприклад Parylene - конформні плівки, які підвищують надійність системи без значного збільшення ваги.

Отже, радіоелектроніка є складним комплексом взаємопов'язаних підсистем, кожна з яких виконує критично важливу функцію. Сучасні дослідження спрямовані на зменшення ваги й енергоспоживання, підвищення швидкості та надійності зв'язку, інтеграцію навігації й комунікацій у єдину систему, а також на захист апаратури від завад. Подальший розвиток цієї галузі відкриває нові можливості для використання безпілотних літальних апаратів у цивільних і військових цілях.

Література

1. Ключові компоненти дронів (схема електроніки): URL: [Kynix – Introduction to the Core Electronic Components in a Drone](#)
2. Будова дрона та робота електронних систем: URL: https://www.gridflight.tech/en/blog/anatomy-of-a-dron-complete-guide-to-components-and-it-workings/?utm_source
3. Акумулятори та живлення UAV: URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11699418/?utm_source
4. Радіоканал управління ExpressLRS: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/ExpressLRS?utm_source
5. Зв'язок, mmWave та 5G для дронів: URL: https://arxiv.org/abs/2104.09204?utm_source